

KYLMÄN- JA LÄMMÖNTUOTANNON YHDISTÄMISMAHDOLLISUUDET

Iivari Tikkanen

Opinnäytetyö

24.1.2011

Talotekniikan koulutusohjelma

Oulun seudun ammattikorkeakoulu

Koulutusohjelma	Opinnäytetyö	Sivuja	+	Liitteitä
Talotekniikka	Insinööriyö	37	+	0
Suuntautumisvaihtoehto	Aika			
LVI	2011			
Työn tilaaja	Työn tekijä			
ISS Palvelut Oy	Iivari Tikkanen			
Työn nimi				
Kylmän- ja lämmöntuotannon yhdistämismahdollisuudet				
Avainsanat				
Absorptio, jäähdytys, patterikylmä, yhdistäminen, kylmäntarpeet				

Työn tarkoituksena oli selvittää kylmän- ja lämmöntuotannon yhdistämismahdollisuuksia. Työssä esiteltiin kuusi erilaista jäähdytysmuotoa. Yleisten kylmäntarpeiden selvittämisen jälkeen työssä selvitettiin, kuinka mikäkin jäähdytysmenetelmä soveltuu kuhunkin kylmäntarpeeseen. Tämän jälkeen tutkittiin prosessien yhdistämismahdollisuuksia ja pohdittiin mahdollisia ongelmia. Työssä huomioitiin myös kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä ja laskettiin esimerkin avulla kylmäenergian ostotarve.

Lisäksi työssä selvitettiin, voiko lämmityspatteria käyttää myös jäähdytyslementtinä. Patterijäähdytystesti tehtiin Oulun seudun ammattikorkeakoulun LVI-laboratoriotiloissa yhdellä patterilla. Patteriin pumpattiin kylmää vettä ja tuloksia seurattiin mittareilla ja lämpökameralla. Kokeilun päätteeksi laskettiin patterin kylmäteho ja pohdittiin patterijäähdytyksen ongelmakohtia.

Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että kylmän- ja lämmöntuotannon yhdistämismahdollisuuksia on olemassa. Tuotantoprosessien erilaiset vaatimukset ja soveltuvuudet aiheuttavat suurimmat ongelmat. Tutkimuksessa todettiin myös patterijäähdytyksen olevan mahdollista tietyissä olosuhteissa. Ongelmia patterijäähdytyksessä saattaa kuitenkin syntyä suuremmissa järjestelmissä. Esimerkiksi kosteuden tiivistymisessä ja kylmän ilman sekoittumisessa voi tulla ongelmia erilaisissa olosuhteissa.

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	5
2 JÄÄHDYTYSMENETELMIÄ.....	6
2.1 Absorptiojäähdytys	7
2.2 Maakylmä	11
2.3 Puhallinkonvektori.....	12
2.4 Lattiajäähdytys.....	14
2.5 Ilmalämpöpumppu	15
2.6 Kaukojäähdytys	16
3 PATERIJÄÄHDYTYSTESTI.....	18
3.1 Käytetyt välineet.....	18
3.2 Kokeilun seuranta	19
3.3 Kokeilun tulos.....	21
4 KYLMÄNTARPEET JA JÄÄHDYTYKSEN SOVELTUVUUS	23
5 YHDISTÄMISMAHDOLLISUUDET	25
6 TALOUS	28
7 YHTEENVETO	32
LÄHTEET.....	34

1 JOHDANTO

Ihmisten kehittynyt teknologian ymmärrys on johtanut aiempaa suurempiin vaatimuksiin asuin- ja teollisuusrakennuksissa sekä julkisissa kiinteistöissä. Sopiville lämpöolosuhteille on alettu esittää yhä suurempia vaatimuksia taloteknisissä ratkaisuissa. Eräinä tärkeitä tuoreina tekijöinä esille ovat nousseet energiatehokkuus, jäähdytys ja taloudellisuus.

Tällä hetkellä jäähdytysratkaisut kiinteistöissä perustuvat kalliiden sähköllä toimivien kompressorijäähdyttimien käyttöön. Sähkölle vaihtoehtoisia ratkaisuja ei ole onnistuttu toistaiseksi laajalti kaupallistamaan. Tulevan ilmaston lämpenemisen myötä lämmityksen tarve tulee pienenemään, kun taas jäähdytyksen tarve tulee kasvamaan.

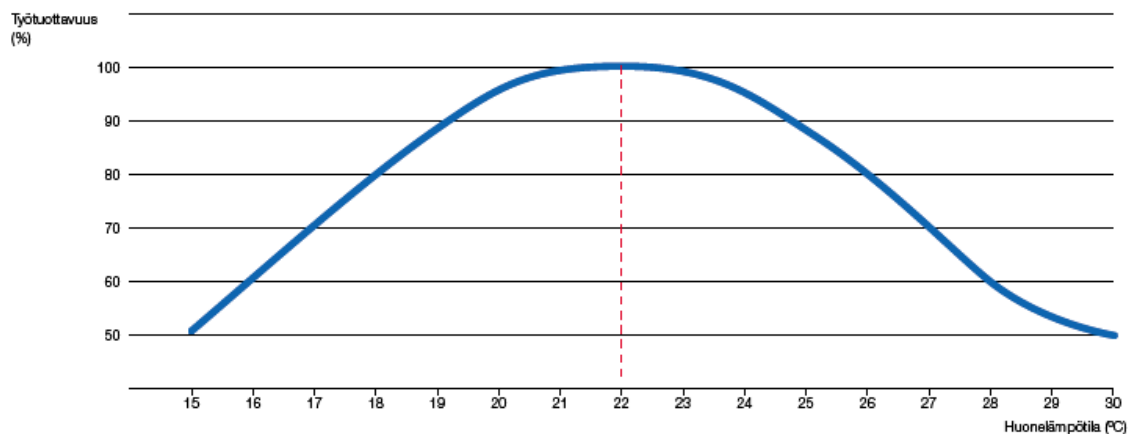
Euroopan Unionin energiapolitiikka lisää haasteita energiatuotannon kehittämiseksi. Uusiutuvan energiantuotannon vaatimukset ovat kasvussa. Teknologisia ratkaisuja korvata sähköenergian käyttöä jäähdytyksessä ei ole tutkittu Pohjoismaissa paljon, vaikkakin sähköenergian käytön korvaavat mahdollisuudet lupaavat hyviä tuloksia teoreettisella tasolla.

Tässä insinööriyössä selvitetään erilaisia jäähdytystarpeita ja niiden toteuttamismahdollisuuksia erilaisin jäähdytysmenetelmin. Kylmäntuotannon kustannuksia pohditaan ja etsitään yhdistämismahdollisuuksia lämmön yhteistuotantoon energiatehokkuuden lisäämiseksi.

Insinööriyön aikana tehdään myös testi, jonka tarkoituksena on selvittää, voiko lämmityspatteria käyttää myös jäähdytyksessä. Patteriin pumpataan viileää vettä kuuman veden sijaan ja seurataan tapahtumaa lämpökameralla. Lopuksi lasketaan patterin luovuttama jäähdytysteho.

2 JÄÄHDYTYSMENETELMIÄ

Rakennusten sisäilman laatu vaikuttaa ihmisen lämpöviihtyvyyteen. Lämpöviihtyvyys muodostuu lämpökuormista, huoneen ja pintojen lämpötiloista sekä ilman puhtaudesta, nopeudesta eli vedosta ja kosteudesta. Nämä tekijät vaikuttavat ihmisen kykyyn tehdä työtä eli työtuottavuuteen. Ihmiselle epämukavan korkean lämpötilan vallitessa sisäilman laatua voidaan parantaa jäähdytyksellä. Kuvasta 1 selviää lämpötilan vaikutus työn tuottavuuteen.



KUVA 1. Työn tuottavuus suhteessa työskentelylämpötilaan (1, s. 4)

Jäähdytysenergia tuotetaan kylmälaitoksilla. Osalla kylmälaitoksista on samanlainen toimintaperiaate kuin lämpöpumpulla. Molemmat on suunniteltu keräämään matalaa lämpöä ja luovuttamaan sen sitten haluttuun tilaan tai pois sieltä. Kun tapahtuman tarkoitus on hyödyntää lämpöä, kysymyksessä on lämpöpumppu. Kun tapahtuman tarkoitus on poistaa lämpöä kohteesta, kyseessä on kylmälaitos. Termodynamiikan sääntöjen mukaan lämpö tasoittuu aina siirtyen lämpimämmästä kylmempään. (2, s. 21.)

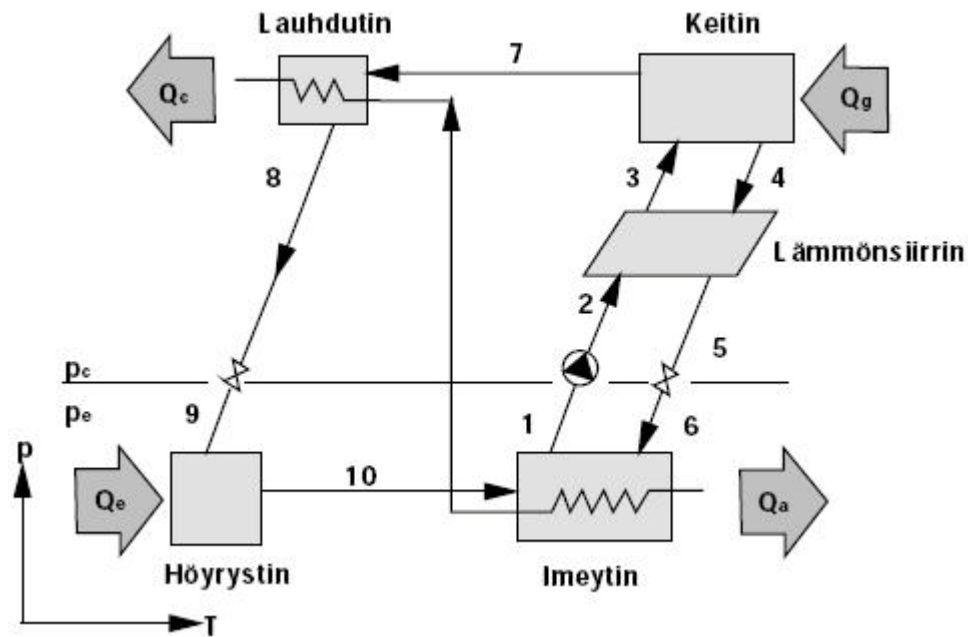
Tällä hetkellä yleisimmin käytetty jäähdytysmuoto on sähköllä toimiva kompressorikonejäähdytys, jota käytetään tavallisissa pakastimissakin. Sen toiminta perustuu kylmäaineen höyrystämiseen, kompressoripaineistukseen ja lauhtutukseen. Kylmäaineet ovat voimakkaasti ympäristölle haitallisia. Tämä jäähdytysmuoto on tehokas, mutta epäekologinen ja kallis kasvavan sähkön hinnan vuoksi.

2.1 Absorptiojäähdytys

Absorptio sanana merkitsee liuokseen tapahtuvaa imeytymistä. Toisin sanoen se tarkoittaa lämpöenergian kerääntymistä välittäjäaineeseen, joka yleensä koostuu pääosin vedestä tai kylmäaineesta. Absorptiojäähdytysprosessin toiminta perustuu työaineparin käyttäytymiseen liuoksena. Oikeissa lämpötila- ja paineolosuhteissa nesteestä kaasuksi muutettu työainepari voidaan vapauttaa tai sitoa. Tällä tavalla höyrystimestä otetaan lämpöenergia ja saadaan jäähdytettyä haluttu kohde. (3, s. 12, 14.)

Yleisimmin maailmalla käytetään H_2O -LiBr-työaineparia (vesi-litiumbromidi). Tyypillisesti sen käyttöenergian lämpötila-alueet vastaavat kaukolämmössä käytettyjä menovesiarvoja 80–120 Celsiusta ($^{\circ}\text{C}$). Myös hyvänä työaineparina korkeammissa lämpötiloissa toimii NH_3 - H_2O (ammoniakki-vesi). Sen toimialue on 150–180 $^{\circ}\text{C}$. (4, s. 9, 10.) Rajoittavana tekijänä H_2O -LiBr työaineparilla on litiumbromidin kiteytymisraja +4 $^{\circ}\text{C}$ ja NH_3 - H_2O työaineparin ongelmana on ammoniakin myrkyllisyys. (3, s. 10.)

Absorptio on eksoterminen (lämpöä vapauttava) reaktio. Desorptio on endoterminen (lämpöä sitova) reaktio, mikä tarkoittaa kaasun erottamista nesteestä. (4, s. 8.) Absorptiopumpun toimintaperiaate perustuu näiden reaktioiden hyödyntämiseen. Tällä tavoin saadaan lämpöenergia siirrettyä pois halutusta kohteesta. Lämpöenergia on yksi energian muodoista ja sen yksikkö on joule. Energiaa ei voi kadottaa, mutta sen muotoa voi muuttaa. Muita energian eri muotoja ovat esimerkiksi sähköenergia ja mekaaninen energia. (5.) Kuvasta 2 selviää absorptiojäähdyttimen toimintaperiaate.



KUVA 2. Single-effect absorptiojäähdytin toimintaperiaate (3, s. 27)

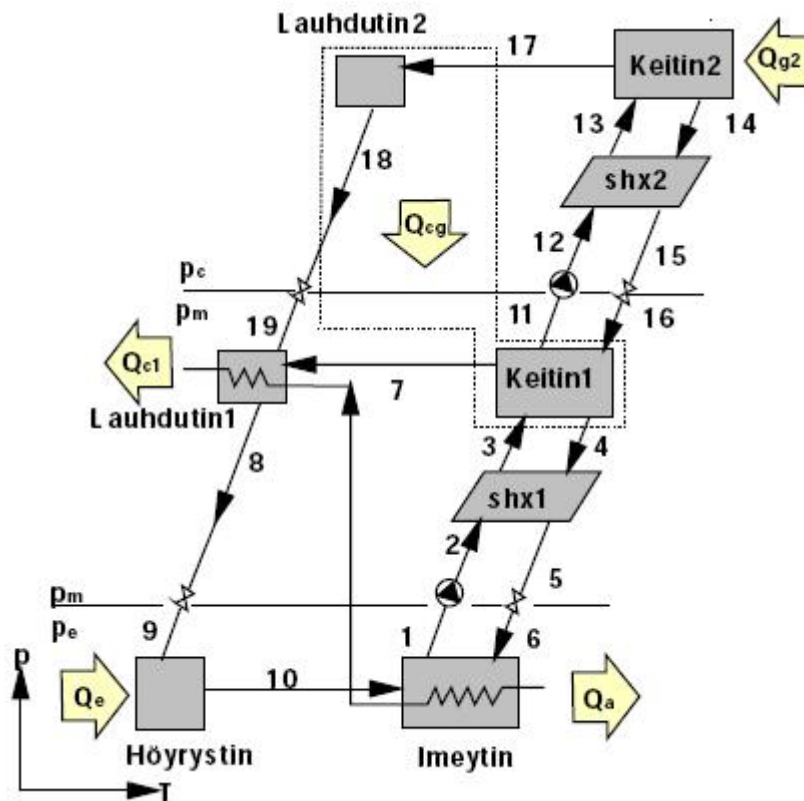
Koljonen ja Sipilä (3, s. 13, 14) selittävät absorptiojäähdytin toimintaperiaatteen näin: ”Kylmäaine virtaa lauhduttimelta paisuntaventtiilin kautta höyrystimelle. Osa kylmäaineesta höyrystyy jo paisuntaventtiilissä ja loput höyrystimellä. Höyry absorboidaan imeyttimeessä liuottimeen -- ja liuoksen paine nostetaan takaisin ylemmälle painetasolle (p_c). -- Imeytintä joudutaan jäähdyttämään lauhtumis- ja liukenemislämmön kompensoimiseksi. Keittimessä kylmäaine vapautetaan ja väkevöity liuos palautetaan imeyttimeen lämmönsiirtimen ja paisuntaventtiilin kautta. Absorptiojäähdytysprosessissa höyrystimen lämpö (Q_c) saadaan jäähdytettävästä nestevirrasta. Prosessin käyttöenergia saadaan keittimelle tuodusta lämmöstä (Q_g).”

Absorptiojäähdytimillä on muutamia eri laitteistoversioita, kuten single-effect (SE), double-effect (DE), triple-effect (TE) ja half-effect (HE) -sovellukset. (3, s. 23, 30, 34, 36.) Eri sovellusten hyötysuhteita ja suorituskkyä voidaan vertailla COP-kertoimella (coefficient of performance) eli lämpökertoimella. Jos esimerkiksi laitteen COP-arvo on 2,6 se tarkoittaa, että kyseinen laite tuottaa yhden kilowatin (kW) ottoteholla 2,6 kW lämpötehoa. (6.)

Single-effect (kuva 2) eli yksivaiheinen -laitteistotyyppi on yksinkertainen laitekokonaisuus, johon sisältyy vain absorptiolle pakollinen nestekiertojärjestelmä.

Primäärienergiana eli käyttöenergiana toimii vesi tai höyry, joiden lämpötilan täytyy olla 80–130 °C. SE-laitoksen COP-arvo on 0,68–0,82 riippuen jäähdytysolosuhteista. (3, s. 23.)

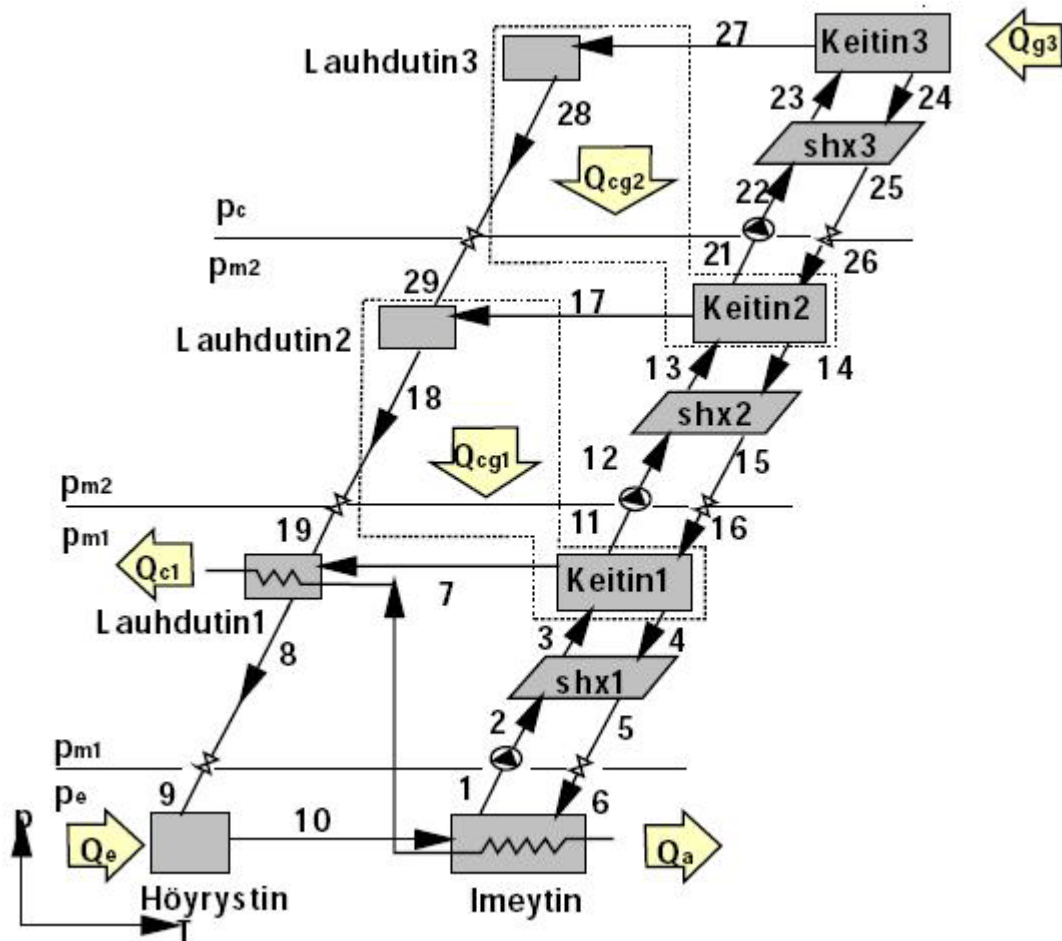
Double-effect- eli kaksivaiheinen laitteistotyyppi eroaa SE-tyypistä siten, että siihen on lisätty kiertopiirejä keittimien ja lauhduttimien lukumäärää lisäämällä. DE-laitetyyppi vaatii korkeampaa lämpötilaa, joka on 120–180 °C. Tällaisella laitetypillä saavutetaan 1,16–1,2:den COP-arvo. (3 s. 30.) Kuvassa 3 on esitetty DE-tyyppisen absorptiokoneen toimintakaavio. Kuviin 3 ja 4 merkitty shx (solution heat exchanger) on lämmönsiirrin.



KUVA 3. Double-effect -absorptiokoneen toimintakaavio (3, s. 31)

Triple-effect- eli kolmivaiheista laitteistotyyppiä on kokeiltu laboratorioissa, mutta niitä ei ole vielä tuotu markkinoille. TE-järjestelmässä on kolme keitintä, ja se toimii neljässä eri painetasossa. Sen primäärienergialta vaatima lämpötilataso nousee jopa 200:aan celsius-asteeseen ja pystyy saavuttamaan 1,4–1,5:en COP-arvon. Näin korkeissa

lämpötiloissa toimiva kompleksi vaatii kuitenkin ulkoista jäähdytystä. (3, s. 34.) Kuvassa 4 on esitetty kolmivaiheisen absorptiojähdyttimen teoreettinen toimintakaavio.



KUVA 4. Triple-effect -absorptiojähdyttimen toimintakaavio (3, s. 36)

Half-effect -prosessityyppi soveltuu vain matalalämpöisiin kohteisiin. HE-jähdyttimen COP-arvokaan ei kuin n. 0,35. Tämä sovellustyyppi toimii kolmessa eri painetasossa ja siinä on kaksi keitintä ja imeytintä. HE-jähdyttimen mallia ei ole myöskään kaupallistettu sen huonon hyötysuhteen vuoksi. Tämä malli vaati primäärienergialtaan n. 70 °C:n lämpötilaa. (3, s. 36.) Taulukkoon 1 on kerätty eri absorptiosovellusten COP-kertoimet.

TAULUKKO 1. Absorptiosovellusten COP-lämpökertoimet

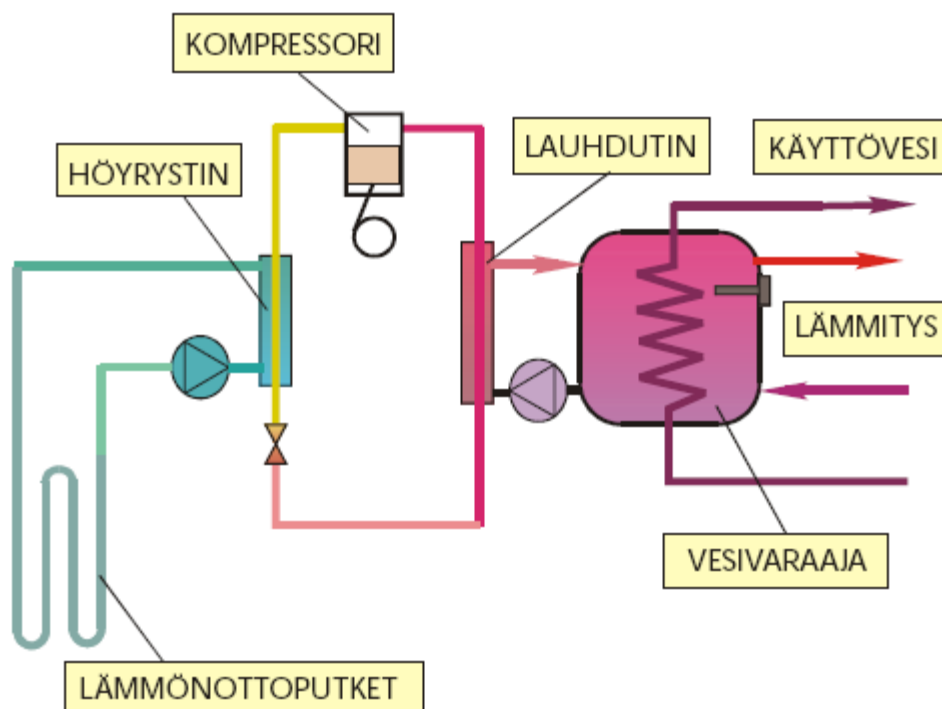
Sovellus	COP
Single-effect (SE)	0,68 - 0,82
Double-effect (DE)	1,16 - 1,2
Triple-effect (TE)	1,4 - 1,5
Half-effect (HE)	0,35

2.2 Maakylmä

Maakylmän toiminta perustuu kiertoprosessiin, jossa maalämpöpumpun kylmäkoneikossa kiertävä kylmäaine luovuttaa ja vastaanottaa lämpöä. Maalämpöpumppu hyödyntää kallioon, veteen ja maahan varastoitunutta auringon energiaa. Maalämpöä voi käyttää sekä lämmitykseen että jäähdytykseen. (7, s. 2.)

Kylmäprosessin kierto alkaa höyrystimestä, jossa kylmäaine on ympäristöään matalammassa lämpötilassa. Kylmäaine höyrystyy sitoen lämpöä ympäristöön. Kompressorissa kylmäaine puristetaan korkeaan paineeseen, jolloin sen lämpötilakin nousee. Tämän jälkeen lauhduttimella kylmäaine luovuttaa lämpönsä ympäristöön ja muuttuu höyrystä nesteeksi. Paisuntalaitteella kylmäaineen painetta lasketaan, mikä muuttaa sen nesteen ja höyryn seokseksi. Kaiken tämän jälkeen kierto alkaa alusta. (8, s. 10.)

Maalämpöpumpun voi yhdistää kylmäprosessiin. Tässä tilanteessa kylmäaine kerää lämpöä höyrystimen kautta vesivaraajasta ja kuljettaa sen lauhduttimelle. Järjestelmän lämmönkeruupiirissä maalämpöneste kulkee lauhduttimen kautta vapauttaen samalla lämpöenergiaa kylmäprosessista. Lämmitysprosessin ja maalämpöpumpun yhteistoimintaperiaate selviää kuvasta 5. Jos kuvan 5 lämmitys prosessin kääntäisi toisinpäin, olisi kyseessä kylmälaitoksen ja maalämpöpumpun yhteistoimintaperiaate.



KUVA 5. Lämmitysprosessi yhdistettynä maalämpöpumppuun (9, s. 6)

Maakylmää voidaan käyttää aktiivi- tai passiivijäähdytysmenetelmällä. Passiivijäähdytyksellä voidaan laskea huonelämpötilaa noin kaksi celsiusastetta, kun taas aktiivijäähdytyksellä on mahdollista laskea huoneen lämpötilaa jopa 6–8 °C. Passiivijäähdytys ei hyödynnä maalämpöpumpun kylmäprosessia, vaan se toimii pelkästään kierrättämällä maalämpönestettä porakaivon ja jäähdytyslaitteen välillä. Aktiivijäähdytysprosessi on monimutkaisempi, sillä se hyödyntää maalämpöpumpun kylmäprosessia ja vielä sen lisäksi maalämpönestettä. (7, s. 5, 6.)

2.3 Puhallinkonvektori

Puhallinkonvektori on jäähdytyslaite, joka kierrättää ilmaa jäähdytyslamellipatterin lävitse pudottaen sen lämpötilaa. Puhallinkonvektorin toiminta perustuu suurimmaksi osaksi konvektioon (lämpötilaerojen aiheuttamaa lämpötilasäteilyä) ja jäähdytysputkistoon, joka kuljettaa muodostuneen ylikuumenemisen pois järjestelmästä. Kyseinen jäähdytysmenetelmä sopii hyvin toimisto- ja kokoustiloihin sen nopeasti toimivan jäähdytystehon vuoksi. (10, s. 128–130.)

Puhallinkovektoria voidaan myös käyttää tiloissa, joissa on hetkellistä kosteutta, jos laite suunnitellaan erikseen kondensoivaksi. Kondenssi tarkoittaa veden tiivistymistä ympäristöä viileämpään pintaan. Pohjoismaissa ei suositella tätä ratkaisua hygieniariskien vuoksi. Suomessa laitteita ei suunnitella kondensoiviksi ollenkaan. (10, s. 130.)

Puhallinkonvektori koostuu puhaltimesta, suodattimesta, lämpötila-anturista, jäähdytyslamellipatterista, patteriin kytkettävistä jäähdytysputkista, kondenssipumpusta ja kondenssivesialtaasta. Jäähdytystehoa säädetään ohjausyksiköllä, joka antaa komentoja säätöventtiilille ja säättää puhaltimen pyörimisnopeutta (11, s. 17, 18). Kuvassa 6 on puhallinkonvektori.



KUVA 6. Puhallinkonvektori (12)

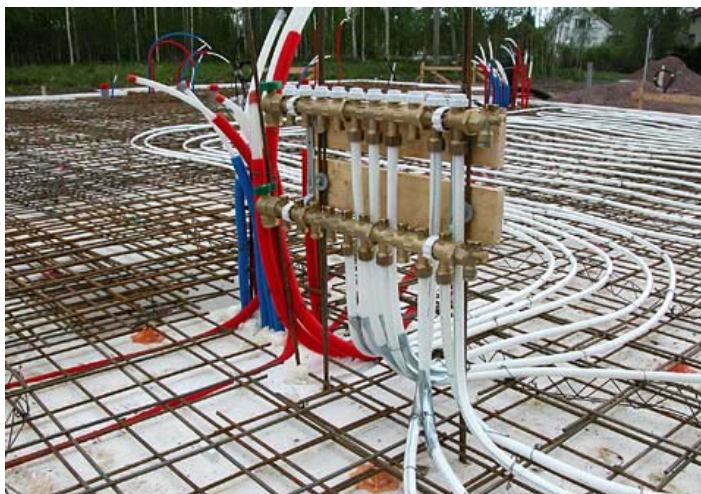
Puhallinkonvektori täytyy sijoittaa helposti huollettavaan paikkaan. Sen voi asentaa lattiaan, kattoon tai ikkunapenkkiin. Laite ei saa aiheuttaa käytettävään tilaan vedontunnetta (10, s. 137). Puhallinkonvektorit ovat yleensä korkeudeltaan ja leveydeltään 600–800 millimetriä (mm) sekä syvyydeltään 300–400 mm. (11, s. 3.)

2.4 Lattiajäähdytys

Lattiajäähdytys on Suomessa melko tuntematon jäähdytysjärjestelmä. Syynä tähän on jäähdytystehon rajallisuus. Tämä taas on seurausta siitä, että lattiajäähdytys toimii samassa järjestelmässä kuin lattialämmitys ja järjestelmä suunnitellaan suurimmaksi osaksi lämmityksen ehdoin. Kuitenkin muualta maailmasta saadut hyvät tulokset ovat alkaneet viime aikoina kiinnostaa myös Suomessa. (13, s. 11.)

Lattiajäähdytyksen etuina ovat sen äänettämyys ja mahdollisuus tuottaa viilennystä ilman vetoa. Lattiajäähdytyksen toiminta perustuu lattian sisään asennettuun jäähdytysputkistoon ja sen sisällä virtavaan nesteeseen, joka kuljettaa huonetilaan muodostuneen ylikämmön pois. Lämmön siirtyminen huonetilasta ja rakenteista poistonesteeseen tapahtuu pääosin johtumalla ja säteilemällä.

Lattiajäähdytyksen säätö tapahtuu ohjausyksikköä säätämällä. Ohjausyksikössä on lämpötila-anturi, joka havaitsee lämpötilan vaihtelun ja antaa tarpeen mukaan komentoja keskusyksikölle. Keskusyksikkö ohjaa toimilaitetta, joka taas säätää kiertonesteen virtaamaa. Tavoitteena järjestelmällä on pitää huoneen lämpötilat vakioina lämpökuormista huolimatta. (14, s. 25.) Kuvassa 7 on lattialämmityspiirin jakotukki.



KUVA 7. Lattialämmityspiirin jakotukki (15)

2.5 Ilmalämpöpumppu

Ilmalämpöpumppu on laite, jonka tarkoituksena on siirtää lämpöenergiaa haluttuun kohteeseen. Sitä voidaan käyttää lämmitykseen sekä jäähdytykseen. Halutun tilan lämpötilaa voidaan nostaa siirtämällä kyseisen pumpun avulla lämpöä ulkoilmasta sisätiloihin. Jos taas tilaa halutaan jäähdyttää, tehdään lämmitysprosessi käänteisenä eli siirretään halutusta kohteesta lämpö pois pumpun avulla. (16.)

Kuten lämpöpumpuissa yleensä, myös ilmalämpöpumppujen suorituskkyä voidaan arvioida COP-lämpökertoimella (katso luku 2.1). Nykyisten laitteiden on ilmoitettu kykenevän jopa yli viiden COP-arvoon, lämpötilan ollessa n. +7 °C. Mitä alhaisempi lämpötila on, sitä huonompi on COP-arvo. Parhaimmat ilmalämpöpumput onnistuvat saavuttamaan COP-arvon 2, jopa -20 °C lämpötilassa. (16.)

Ilmalämpöpumppujen suosio on kasvanut merkittävästi viime vuosina, etenkin Suomessa. Syynä tähän on niiden ekologisuus ja merkittävä energiankulutuksen rajoittaminen jatkuvassa energian hinnan kasvussa. Oikein asennettuna ja käytettynä ilmalämpöpumppu säästää 30–40 % sähkölämmitteisen asuinrakennuksen sähkönkulutuksesta. Ilmalämpöpumppua ohjataan yleensä kaukosäätimellä. (16.) Kuvassa 8 on ilmalämpöpumppu.

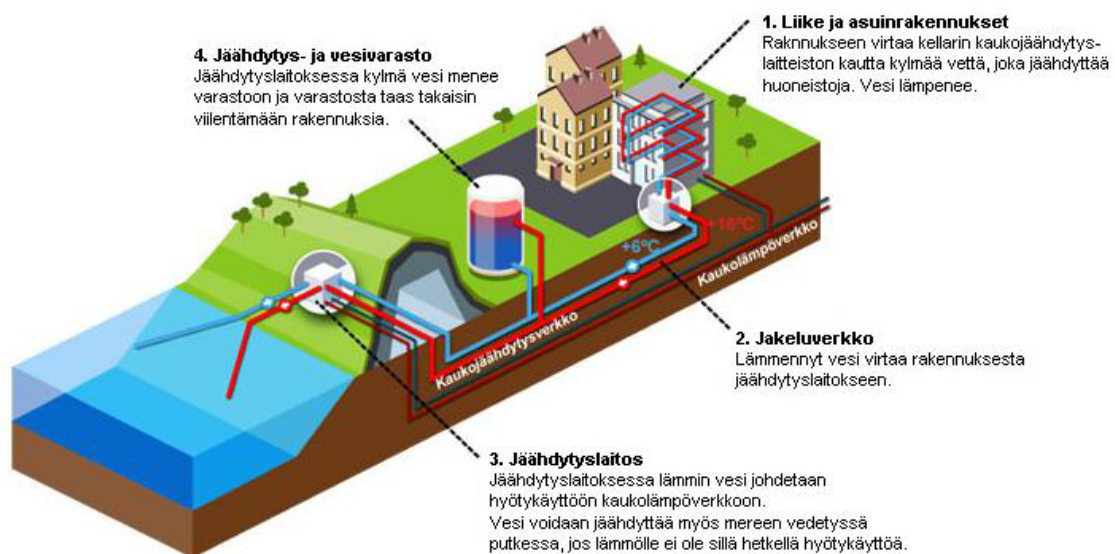


KUVA 8. Ilmalämpöpumppu ja sitä ohjaava kaukosäädin (17)

2.6 Kaukojäähdytys

Teknologiaaltaan kaukojäähdytys on kaukolämmityksen kaltainen. Kaukolämmitys on Suomen yleisin lämmitysmuoto ja sen osuus on yli 50 % koko maan lämmitysmarkkinoista. Kaukolämpö sopii parhaiten tiheään asutuille. Kaukolämmön lämpöenergia tuotetaan paikallisesti edullisinta polttoainetta käyttäen. Esimerkkejä näistä polttoaineista ovat turve, kivihiili ja maakaasu. (18.)

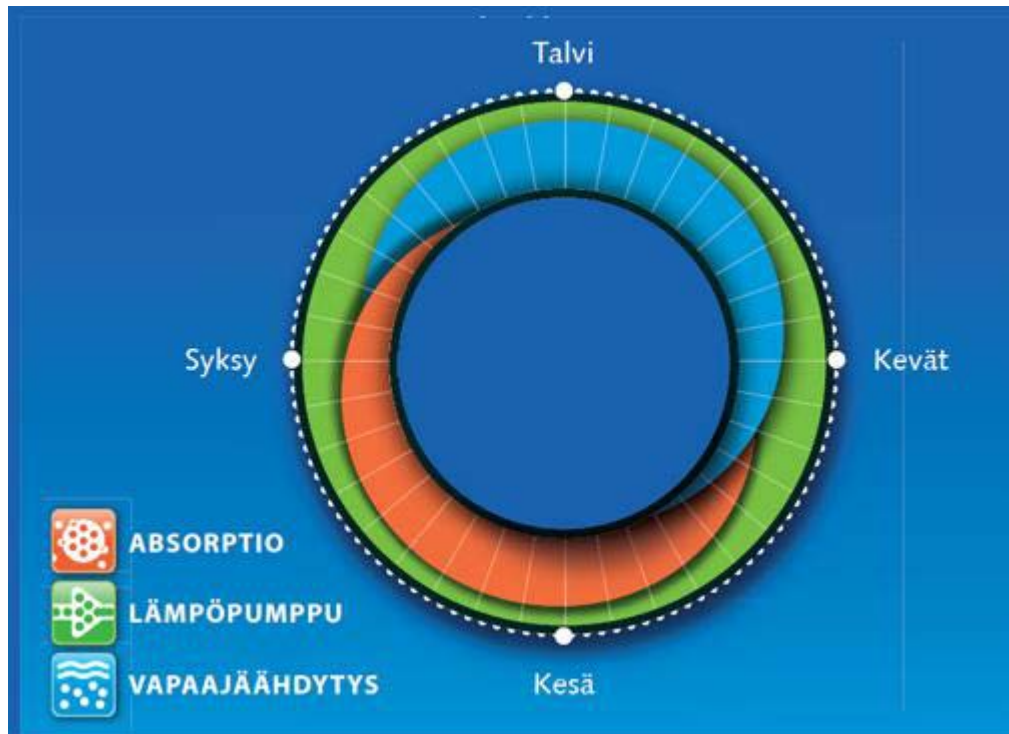
Kaukojäähdytyksen toiminta edellyttää primäärienergian (kaukojäähdytyksessä yleensä veden) matalaa lämpötilaa, kun taas absorptiojäähdytys vaatii korkeaa lämpötilaa. Kaukojäähdytyksen kylmää jaetaan kiinteistöihin kahdella tavalla: keskitetysti ja hajautetusti. Keskitetyn jakelujärjestelmän toiminta on samankaltainen kuin kaukolämpöjärjestelmän. Jäähdytysvesi tuotetaan laitoksella ja siirretään sitten kiinteistöön putkia pitkin. Hajautetussa järjestelmässä vesi jäähdytetään kiinteistökohtaisesti. (19.) Kuvassa 9 on hahmoteltu kaukojäähdytyksen toimintamalli.



KUVA 9. Kaukojäähdytyksen toimintaperiaate (20)

Suomessa kaukojäähdytys tuotetaan suurimmaksi osaksi energiasta, joka muuten jäisi hyödyntämättä. Etenkin talvella jäähdytyksen tuottaminen on edullista, sillä sitä voidaan tuottaa ehtymättömästi merivesijäähdytyksellä (vapaajäähdytys). Toisaalta

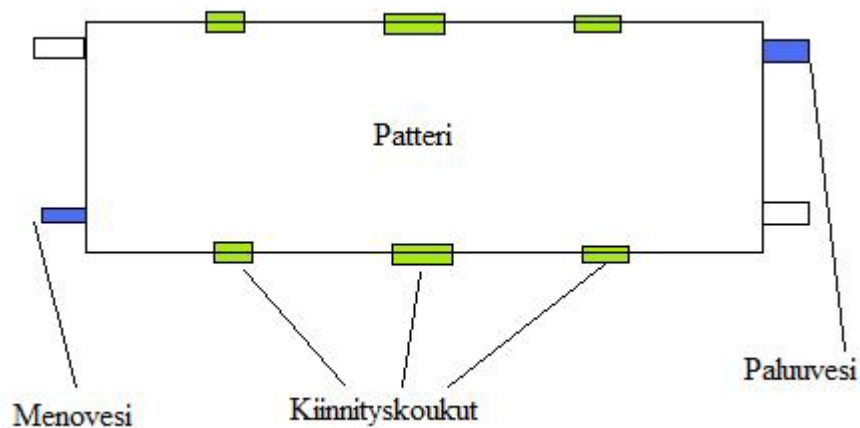
kylmäkuukausina jäähdytyksen tarve ei ole niin suurta kuin kesällä. Kun vuoden lämpimimpinä kuukausina meriveden kylmää ei voida hyödyntää, käytetään jäähdytykseen absorptiopumppua, joka taas hyödyntää kaukolämpöä. Kaukolämpö taas osaltaan hyödyntää kaukojäähdytyksen kiinteistöissä lämmennyt paluuvettä. (20.) Kuvassa 10 näkyy, millä menetelmillä Helsingissä hoidetaan jäähdytysentuotanto.



KUVA 10. Helsingin Energian jäähdytysentuotanto (20)

3 PATERIJÄÄHDYTYSTESTI

Tarkoituksena oli selvittää, kuinka patteri toimii jäähdyttimenä, jos siihen syöttää lämpimän veden sijasta viileää vettä. Testin tarkoituksena oli selvittää patterin jäähdytysteho sekä tarkkailla lämpökameralla lämmön käyttäytymistä patterin läheisyydessä. Tein testin Oulun seudun ammattikorkeakoulun LVI-laboratoriossa patterilla, jonka leveys on 2 000 millimetriä ja korkeus 350 millimetriä. Patteri oli kiinnitettynä metrin korkeuteen vanerilevyyn koukuilla ja siitä oli irrotettu vesivirtaa säättävä termostaatti. Kuvasta 11 selviää, kuinka patteri oli kytkettynä.



KUVA 11. Patterin kytkentä

3.1 Käytetyt välineet

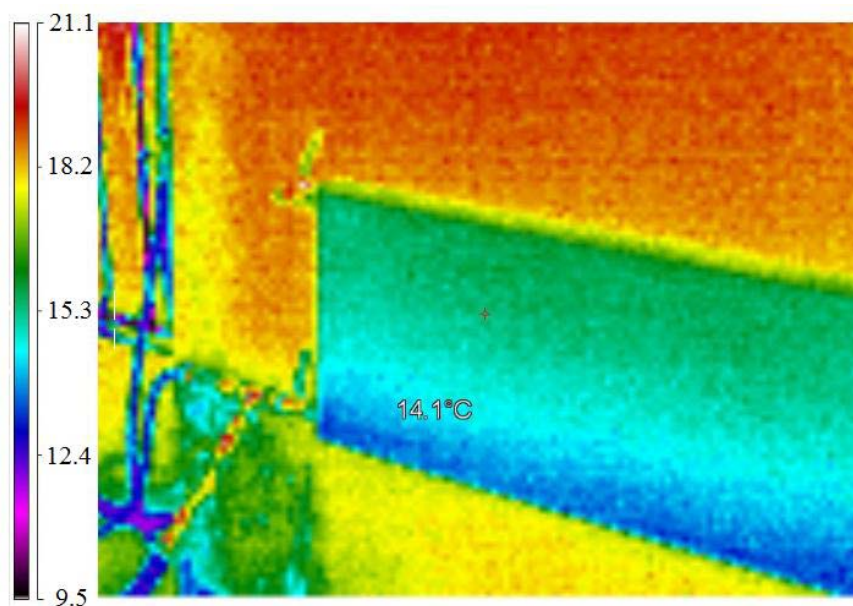
Patterissa kulkevan veden virtaamaa ja meno- sekä paluueden lämpötilaa mittasin Vesivertolämpöenergiamittarilla. Lämmön käyttäytymisen, patterin sekä taustana olleen vanerilevyn pinnan lämpötilan tarkkailuun käytin lämpökameraa. Lämpökameran merkki oli Fluke Ti20 Thermal Imager ja valmistajan ilmoittama mittausvirhe oli +/- 0,2 °C (21). Vesivertolämpöenergiamittarin aiheuttaman mittausvirheen laskemiseen ei ollut saatavilla tarvittavia tietoja. Voidaan kuitenkin arvioida virheen olevan enintään +/- 2 %. Kuvassa 12 on kyseisen mallin lämpökamera.



KUVA 12. Fluke Ti20 Thermal Imager lämpökamera (22)

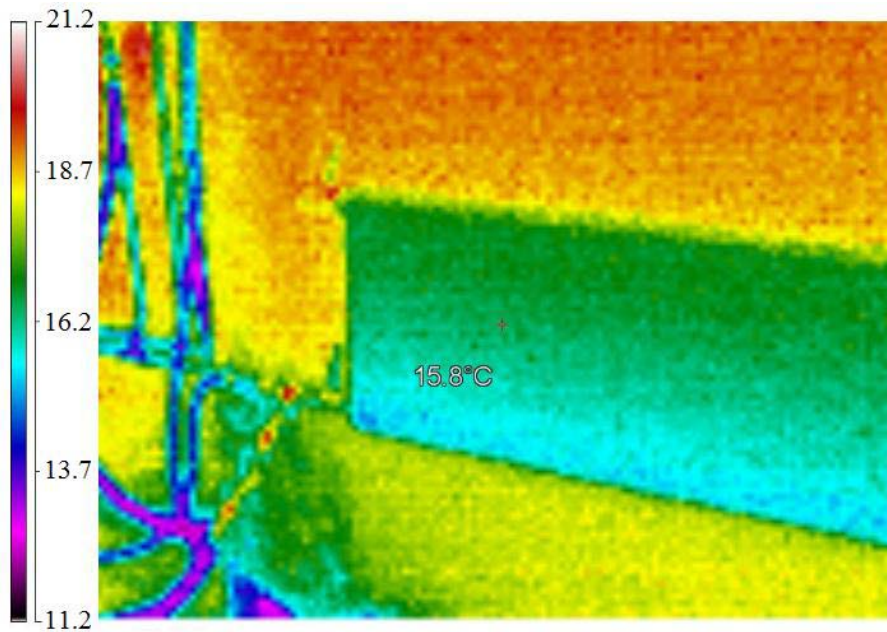
3.2 Kokeilun seuranta

Aluksi annoin patteriin virrata vettä noin kymmenen minuutin ajan, jotta sen lämpötila tasaantuisi. Syötin järjestelmään Vesivertolämpöenergiamittarin mukaan 12,0 °C vettä virtaamalla 0,12 litraa sekunnissa (l/s). Lähtötilanteessa huoneen lämpötila oli 21 °C ja ilma oli kuivaa ulkoilman kylmyyden vuoksi (n. -10 °C). Kuvassa 13 näkyy menovesipuolen tilanne 10 minuuttia testin aloittamisen jälkeen.



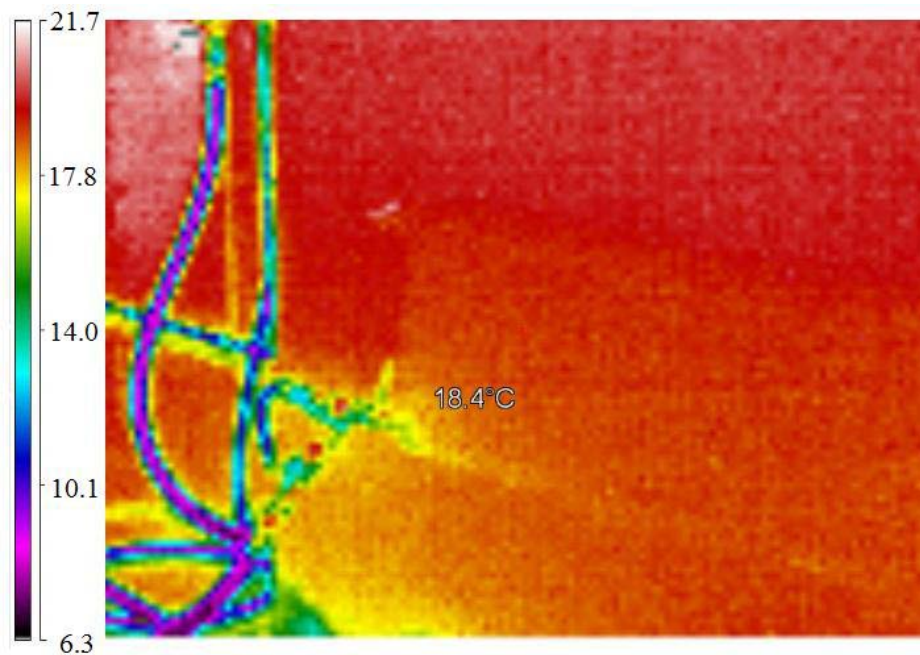
KUVA 13. Patterijäähdytystesti 10 minuutin jälkeen

Viisikymmentä minuuttia testin aloittamisen jälkeen vesivertolämpöenergiamittari ilmoitti menoveden lämpötilan nousseen 13,0 °C lämpötilaan ja vesivirran olevan edelleen 0,12 l/s. Patterin pinnan lämpötila oli noussut hieman huoneen lämpötilatason vuoksi ja taustavanerilevyn pintalämpötila oli laskenut. Lämpökamerasta katsottuna huomasin, kuinka kylmä ilma oli lähtenyt laskeutumaan lattiaa kohti. Tilanne 50 minuutin jälkeen näkyy kuvasta 14.



KUVA 14. Patterijäähdytystesti 50 minuutin jälkeen

100 minuuttia kokeilun aloittamisen jälkeen vesivertolämpöenergiamittari ilmoitti menoveden lämpötilan olleen 12,1 °C. Virtaama oli pysynyt samassa arvossa. Patteri oli jälleen lämmennyt huonelämpötilasta johtuen. Lämpökameran läpi näkyi, kuinka taustavanerilevyn pinnan lämpötila oli tasoittunut lähes täysin samaan lämpötilaan kuin patterin pintalämpötila. Kuvasta 15 näkyy tilanne 100 minuuttia testin aloittamisen jälkeen.



KUVA 15. Patterijäähdytystesti 100 minuutin jälkeen

3.3 Kokeilun tulos

Yhteenvedona voidaan todeta patterin pinnan lämpötilan tasoittuvan melko nopeasti huoneen lämpötilan kanssa. Kokeen aikana ei havaittu veden tiivistymistä viileisiin pintoihin. Näin ollen voidaan todeta, ettei ainakaan vastaavanlaisissa olosuhteissa kosteudesta muodostu haittaa patterijäähdytykselle. Jäähdytyksestä johtuva viileän ilman laskeutuminen saattaa aiheuttaa ihmisille kylmän tunnetta jalkoihin, mutta tilanteen voisi korjata esimerkiksi asettamalla puhaltimen patterin alapuolelle. Laskennalliseksi kylmätehoksi tuli noin 0,5 kilowattia. Patterin jäähdytystehon laskin kaavalla 1. (23.)

$$\Phi = q_v * C_{p_v} * \rho_v * \Delta T$$

KAAVA 1

Φ = kylmäteho [kilowattia, kW]

q_v = virtaama [kuutiota sekunnissa, m³/s]

C_{p_v} = veden ominaislämpökapasiteetti [kilojoulea kilolle celsiusta, kJ/kg°C]

ρ_v = veden tiheys [kiloa kuutiolle, kg/m³]

ΔT = meno- ja paluuveden välinen lämpötilaero [celsiusta, °C]

Jäähdytystehon laskemiseen käytin seuraavia arvoja:

$$q_v = 0,12 \text{ l/s} = 0,00012 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$C_{p_v} = 4,2 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \text{ (n. } 18^\circ\text{C lämpötilassa)}$$

$$\rho_v = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\Delta T = 1^\circ\text{C} \text{ (} 18,4^\circ\text{C} - 19,4^\circ\text{C)}.$$

Näillä arvoilla sain kylmätehoksi (Φ) 0,504 kW.

4 KYLMÄNTARPEET JA JÄÄHDYTYKSEN SOVELTUVUUS

Erilaisissa kohteissa on erilaisia kylmäntarpeita. Kaikilla jäähdytysmenetelmillä ei päästä haluttuihin lämpötiloihin. Tässä luvussa kerrotaan erilaisten tilojen jäähdytystarpeet ja jäähdytysmenetelmien soveltuvuus kyseisiin tiloihin. Korkeampia jäähdytystarpeita esiintyy erityisesti teollisuudessa ja kaupanalalla.

Vaativimmat kylmäntarpeet esiintyvät ruoan valmistuksen jälkeisessä pikapakastuksessa. Tällä saralla lämpötilat ovat -30...-40 °C välillä. Esimerkiksi elintarviketehtaan pikapakastuksessa käytetään -39 °C lämpötilaa. (24, s. 26, 27). Tavallisessa pakastuksessa korkein sallittu lämpötila on -18 °C. Yleensä pakastuksessa kuitenkin käytetään -25 °C lämpötilaa. (25.)

Kylmäsäilytyksen lämpötilat liikkuvat +0–10 °C välillä. On kuitenkin suositeltavaa pitää lämpötila alle +6:n °C alapuolella. Kylmäsäilytyksessä on kyse tavallisesta jääkaapista tai kylmiöstä. Kaupanalalla kylmäsäilytystilojen lämpötilaa säädetään yleensä säilytettävän tuotteen mukaan. (25.)

Matalin jäähdytyksen tarve esiintyy tiloissa, joissa on ihmisiä. Yleisimmin jäähdytysmenetelmiä suunnitellaan toimistotiloihin, sillä etenkin kesäisin korkea lämpökuorma vaikuttaa ihmisten työtehokkuuteen. Toimistotilojen tavoitteellinen lämpötila on 21 °C. Taulukosta 2 näkee, mitkä kylmäntarvevaatimukset ovat saavutettavissa kullakin jäähdytysmenetelmällä.

TAULUKKO 2. Jäähdytysmenetelmien soveltuvuus kylmäntarpeisiin

Jäähdytysmenetelmä	Kylmäntarpeet			
	Pikapakastus (-39°C)	Pakastus (-25°C)	Kylmäsäilytys (+5°C)	Toimisto (+21°C)
Maakylmä	ei sovellu	ei sovellu	soveltuu*	soveltuu
Puhallinkonvektori	ei sovellu	ei sovellu	ei sovellu	soveltuu
Lattiajäähdytys	ei sovellu	ei sovellu	ei sovellu	soveltuu
Ilmalämpöpumppu	ei sovellu	ei sovellu	ei sovellu	soveltuu
Kaukojäähdytys	ei sovellu	ei sovellu	soveltuu	soveltuu
Absorptiojäähdytys	ei sovellu**	soveltuu	soveltuu	soveltuu

* = Voi ilmaantua ongelmia lämpötilan pysyvyydessä.

** = Absorptiojäähdytyksellä on mahdollista päästä pikapakastuksen vaatimaan lämpötilaan, mikäli primäärienergian lämpötila on erittäin korkea.

Teollisuudessa on käytössä myös vielä matalampia lämpötiloja. Koska nämä jäähdytysmenetelmät eivät sovellu edes pikapakastukseen, niitä ei ole otettu huomioon. Taulukosta 2 voidaan todeta, että kaikki tarkastelun kohteena olevat jäähdytysmenetelmät soveltuvat toimistojen jäähdyttämiseen.

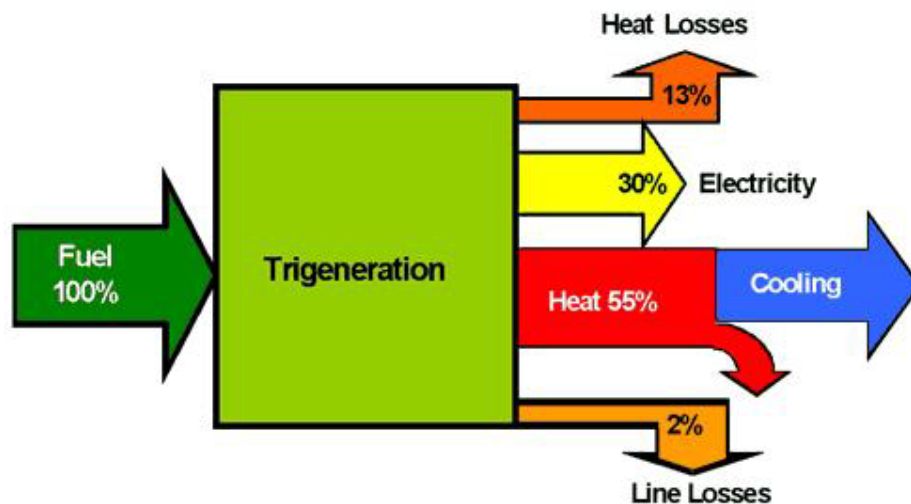
5 YHDISTÄMISMAHDOLLISUUDET

Energiatehokkuus ja hiilidioksidipäästöjen vähentäminen ovat muodostuneet erittäin ajankohtaisiksi asioiksi energiantuotannossa. EU:n ekologisuusvaatimukset pakottavat taloudellisempiin ratkaisuihin. Hyviä tuloksia on saatu yhteistuotantoratkaisuista, joissa jäte-energia hyödynnetään toiseen prosessiin.

Suomessa käytetään yhteistuotantoa esimerkiksi CHP-laitoksissa (Combind Heat & Power plant), joissa tuotetaan kaukolämpöä ja sähköä. Yli 70 % kaukolämmöstä tuotetaan Suomessa CHP-laitoksilla. CHP-laitoksilla polttoaineen tarve on huomattavasti pienempi kuin erillistuotantolaitoksilla. Sen lisäksi CHP-laitoksilla saavutetaan 75 prosentin hyötysuhde, kun taas erillistuotannolla päästään vain 52 prosenttiin. (26.)

Kempeleessä on ekokortteli, jossa on puuhakkeella toimiva CHP-laitos. Kyseinen ekokortteli on Fortel Oy:n kehittänyt ekologisuuskokonaisuus. Aluetta ei ole liitetty yleiseen sähkö- tai lämpöverkkoon, vaan sen sähköntuotanto perustuu puukaasutuksella toimivaan moottoriin. Lämmitysenergia tuotetaan sähkötuoton jätelämmöllä. Järjestelmässä on myös tuulimylly, akusto ja kuumavesivaraaja sekä aggregaatti (polttomoottori-generaattori), joilla varmistetaan lämmön ja sähkön riittävyys eri olosuhteissa. Yrityksen mukaan kahdella kilogrammalla puuta saadaan yhtä paljon energiaa kuin litralla polttoöljyä. (27.)

Yhteistuotantolaitoksia on myös toisenlaisia. Laitos, jossa tuotetaan kylmäenergiaa ja sähköä, on nimeltään MSP-laitos (Multi Supply Plant). Laitoksia, joilla tuotetaan lämpöä, kylmää ja sähköä, kutsutaan laajennetuiksi yhteistuotantolaitoksiksi, jotka englannin kielellä tunnetaan nimellä Trigenerationplants. Laajennetuissa yhteistuotantolaitoksissa kylmäntuotanto hyödyntää muun tuotannon jätelämpöä. Yleensä kylmäntuotto tapahtuu absorptiolla. (4, s. 5.) Kuvasta 16 näkee, kuinka polttoaine saadaan hyödynnettyä kuhunkin laajennetun yhteistuotannon osa-alueeseen.



KUVA 16. Laajennetun yhteistuotannon hyödyntäminen (28)

Fuel = polttoaine

Trigeneration = laajennettu yhteistuotanto

Heat Losses = lämpöhäviöt

Electricity = sähkö

Heat = lämpö

Cooling = jäähdytys

Line Losses = siirtohäviöt

Absorptiojäähdytys ja kaukokylmä voidaan yhdistää edullisesti kaukolämpöverkkoon, sillä hajautetun kaukokylmän ja kaukolämmön saa samaan verkostoon. Absorptiojäähdytys voi myös hyödyntää lämmitysprosessissa syntyvää lämpöenergiaa. (3, s. 3, 4). Helsingissä on Katri Valan lämpö- ja jäähdytyslaitos, joka hyödyntää talviaikaan myös jätevedenlämpöä lämmönsiirtimen välityksellä. (20.)

Lattialämmityksen yhdistäminen lattiajäähdytykseen on myös järkevä ratkaisu etenkin hinnan suhteen. Kummatkin prosessit voidaan rakentaa samaan järjestelmään ilman ylimääräisiä kustannuksia. Yhdistämisen etuna on myös se, etteivät lämmityspotket jää käyttämättömiksi kesäisin. Lattialämmityksen- ja lattiakylmäntuotto on järkevä yhdistää maalämmön- ja maakylmäntuotantoon. Talvella lattialämmitys voi hyödyntää maan lämpöä ja kesäisin maan viileyttä. (29). Lattiakylmällä ei kuitenkaan saavuteta suuria jäähdytysenergianmääriä, mutta käyttämällä sen lisäksi ilmalämpöpumppua tai puhallinkonvektoria päästään huomattavasti korkeampiin kylmätehoihin.

Patterilämmitykseen voisi yhdistää myös patterijäähdytyksen pumppaamalla kesäisin järjestelmään kylmää vettä ja talvisin lämmintä vettä. Ongelmaksi kuitenkin muodostuisi kesäisin kylmän ilman laskeutuminen patterista jaloille ja siitä aiheutuva kylmän tunne. Jos patterin asettaisi korkealle, kylmän ilman laskeutuminen sekoittuisi tasaisemmin huoneilmaan, mutta lämmityskaudella ei lämmin ilma sekoittuisi oikein. Patterin alle voisi asentaa puhaltimen, joka sekoittaisi kylmän ilman huoneeseen, mutta tällöin kustannukset kasvaisivat. Patterin voisi kuitenkin asentaa siten, että aurinko pääsisi paistamaan suoraan patterin alapuolelle, jolloin säteilylämpö estäisi kylmän laskeutumisen jalkoihin. Tämä kuitenkin edellyttäisi tilan rakentamista auringon luomin ehdoin.

6 TALOUS

Energiaa tuottaessa tärkeimpiä valintakriteereitä ovat ekologisuus ja kustannukset. Ekologisuuteen vaikuttavat raaka-aineet ja niiden hyödyntämismenetelmät. Kustannuksiin vaikuttavat useammat tekijät, minkä vuoksi taloudellisuuden arviointi on haastavaa. Tämän vuoksi on huomioitava järjestelmän koko sen käyttöaikana muodostuneet kustannukset. (30, s. 1.)

Kustannuksien laskemiseen voi käyttää erilaisia vertailu- tai laskentamenetelmiä. Eräänä esimerkkinä näistä menetelmistä on elinkaariarviointi menetelmä. Kokonaiskustannuksia laskiessa täytyy huomioida investointikustannusten lisäksi myös hallinnasta ja huollosta, raaka-aineiden valmistuksesta ja hankinnasta, sekä laitteen hävittämisestä aiheutuvat kustannukset. Tärkeitä talouteen vaikuttavia tekijöitä ovat hyötysuhde, käyttöikä sekä inflaation ja korkojen muutokset. (30, s. 16–32.)

Rakennusten lämmön ja jäähdytyksen energiatalouden laskemiseen on tehty laskentakaavat Rakennusmääräyskokoelman (RakMk) osaan D5. Seuraavaksi on esitetty esimerkkilaskelma kuukauden keskimääräisen sisälämpötilan ja jäähdytysenergian tarpeen laskennasta rakennusmääräyskokoelman D5 mukaisesti. (31.) Kuukauden keskimääräisen sisälämpötilan laskenta selviää kaavasta 2.

KAAVA 2

$$T_{s, \text{ lask, keskim}} = \left(\frac{T_s + (1 - \eta_{\text{lämpö}}) * Q_{\text{lämpökuorma}} - Q_{\text{jäähdytys, tilat, netto}}}{\frac{Q_{\text{lämpöhäviö}}}{T_s - T_u}} \right)^{1/1,1}$$

$T_{s, \text{ lask, keskim}}$ = laskennallinen kuukauden keskimääräinen sisäilman lämpötila, °C

T_s = sisäilman lämpötila (lämmityksen asetusarvo), °C (yleensä 21 °C)

T_u = ulkoilman lämpötila (kuukauden keskimääräinen arvo, D5 liite 1), °C

$\eta_{\text{lämpö}}$ = lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämisaste, - (D5 luku 8)

$Q_{\text{lämpökuorma}}$ = lämpökuormaenergia eli muun kuin säätölaitteilla ohjatun lämmityksen kautta rakennuksen sisälle vapautuva lämpöenergia, kWh

$Q_{\text{jäähdytys, tilat, netto}}$ = rakennuksen tilojen jäähdytyksen nettoenergia, kWh

$Q_{\text{lämpöhäviö}}$ = rakennuksen lämpöhäviöenergia, kWh (johtumisen, vuotoilman, ja ilmanvaihdon yhteenlaskettu lämpöhäviöenergia vähennettynä tarvittaessa tuloilman jälkilämmityspatterin energiankulutuksella)

1,1 = eksponentissa oleva tekijä, joka ottaa huomioon lämmönsiirron tehostumisen lämpötilatason noustessa.

Esimerkkinä on rakennus Oulussa ja laskennassa heinäkuun olosuhteet:

$$T_s = 15 \text{ °C}$$

$$T_u = 21 \text{ °C}$$

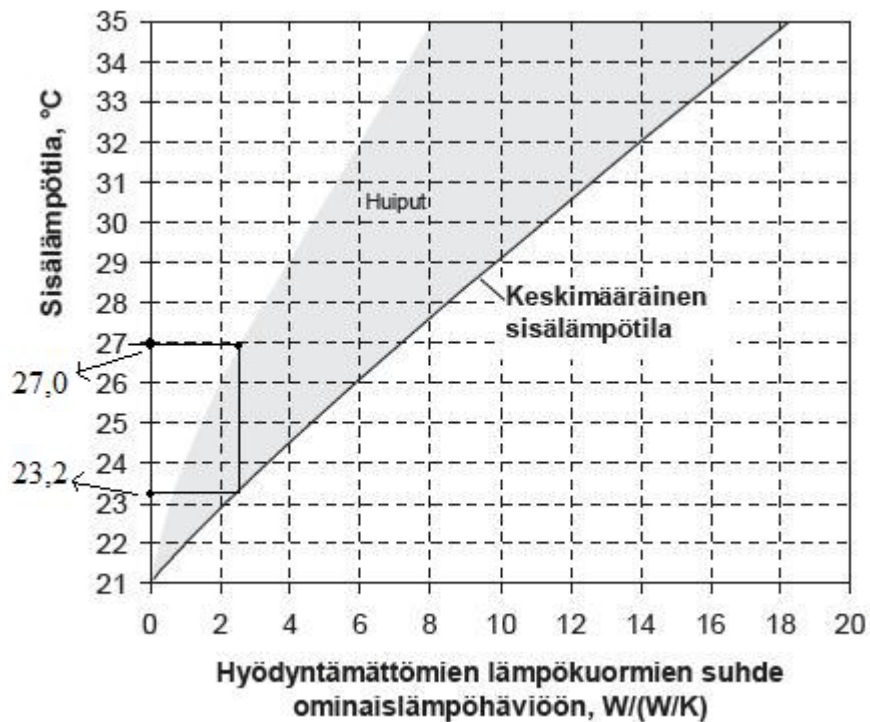
$$Q_{\text{lämpöhäviö}} = 480 \text{ kWh}$$

$$Q_{\text{lämpökuorma}} = 645 \text{ kWh}$$

$Q_{\text{jäähdytys, tilat, netto}} = 0 \text{ kwh}$ (ei jäähdytystä, jotta voidaan laskea kuinka korkeaksi lämpötila nousisi ilman sitä)

$\eta_{\text{lämpö}} = 0,7$.

Näillä arvoilla $T_{s, \text{lask, keskim}} = 23,2 \text{ °C}$ ja kuukauden huipuksi saadaan n. 27 °C kuvasta 17.



KUVA 17. Diagrammi kuukauden sisälämpötilahuipun määrittämiseen (31)

Jäähdytysenergian tarpeen laskenta on esitetty kaavalla 3.

KAAVA 3

$$Q_{\text{jäähdytys, tilat, netto}} = (1 - \eta_{\text{lämpö}}) * Q_{\text{lämpökuorma}} - \left(\frac{(T_s, \text{asetusarvo} - T_s)^{1,1}}{(T_s - T_u)} \right) * Q_{\text{lämpöhäviö}}$$

$T_s, \text{asetusarvo}$ = Jäähdytyksen asetusarvo (käytetään esimerkissä arvoa 22 °C)

$\epsilon_{\text{jäähdytys}}$ = Kylmäntuottolaitteen vuotuinen kylmäkerroin (käytetään esimerkissä arvoa 3).

Aikaisemmilla arvoilla tästä saadaan tulokseksi 113,5 kWh. Tämä luku ilmoittaa, kuinka paljon kuluu energiaa 22 °C ylläpitämiseen.

Seuraavaksi lasketaan kaavalla 4, paljonko energiaa pitää todellisuudessa ostaa haluttua jäähdytystä varten.

KAAVA 4

$$Q_{\text{jäähdytys, osto}} = \frac{\left(\frac{Q_{\text{jäähdytys, tilat, netto}}}{\eta_{\text{lämpö}}} \right)}{\epsilon_{\text{jäähdytys}}}$$

Esimerkkiarvoilla laskettuna vastaukseksi saadaan 54 kWh. Tämä tarkoittaa sitä, että ostamalla 54 kilowattituntia energiaa saadaan ylläpidettyä haluttua jäähdytyksen asetusarvoa. Yhteenvetona voidaan todeta, että lämpötilan ylläpitämiseen tarvittava energian määrä ei ole sama kuin todellinen ostoenergian määrä.

7 YHTEENVETO

Tässä työssä selvitettiin teoreettiset mahdollisuudet yhdistää kylmän- ja lämmöntuotantoprosesseja. Yhdistämisen tavoitteena oli ekologisuus ja taloudellisuus. Tämän lisäksi työssä tutkittiin käytännön mahdollisuuksia jäähdyttää tilaa patterilla lämmityksen lisäksi.

Aluksi työssä esiteltiin muutamia erilaisia jäähdytysmuotoja ja niiden toimintaperiaatteita. Lisäksi työssä esiteltiin laboratorio-olosuhteissa tehty testi, jossa kokeiltiin patteria jäähdytyselementtinä. Tämän jälkeen esitettiin erilaisia yleisiä kylmäntarpeita ja selvitettiin jäähdytysmenetelmien soveltuvuus kyseisiin kylmäntarpeisiin. Työssä myös poditiin yhdistämismahdollisuuksia toisiin tuotantoprosesseihin. Lopuksi tarkasteltiin jäähdytystä taloudelliselta kannalta.

Erilaisia yleisiä kylmäntarpeita esiintyy toimistoissa, kaupanalalla ja teollisuudessa. Yleisimpiä jäähdytyksen vaatimustasoja ovat pikapakastus, pakastus, kylmäsäilytys ja toimistotilat, joiden lämpötilavaatimukset ovat $-39...+21$ °C välillä. Kaikki jäähdytysmuodot eivät sovellu samoihin kylmäntarpeisiin. Esimerkiksi kaikilla työssä tutkituilla jäähdytysmenetelmillä saavutetaan toimistojen vaatimat jäähdytystasot, kun taas pikapakastuksen vaatimustasoa ei saavuteta millään menetelmällä. Erilaisilla kylmäntuotantolaitteilla on erilaisia toimintaedellytyksiä.

Mahdollisuuksia yhdistellä eri kylmäntuotantomuotoja lämmitysprosesseihin on olemassa sekä käytännössä että teoriassa. Työssä esitetyt käytännön mahdollisuudet prosessien yhdistämiseen pitäisi toimia teoriassa myös toisenlaisissa mittakaavoissa. Sitä on kuitenkin vaikea todistaa ilman käytännön kokeilua. Ongelmiksi prosessien yhdistämisessä voi aiheutua eri prosessien erilaiset toimintavaatimukset.

Työn aikana tehty patterijäähdytystesti todisti teoreettisen mahdollisuuden käyttää patterilämmitysjärjestelmää ainakin jossain määrin myös jäähdytykseen. Käytännössä patterijäähdytys toimii ainakin laboratorio-olosuhteissa tietyin ehdoin. Patterijäähdytyksen käyttäminen suuremmassa kuin yhden patterin mittakaavassa voi

aiheuttaa kuitenkin ongelmia. Ongelmia voi aiheuttaa esimerkiksi kylmän ilman riittämätön sekoittuminen, kondensoituminen ja jäähdytystehon riittämättömyys.

Kylmäntuottaminen aiheuttaa aina myös taloudellisia kustannuksia. Työssä pohdittiin, minkälaisia asioita täytyy huomioida, jotta todelliset kustannukset saadaan selvitettyä. Tämän jälkeen selvitettiin laskennallisen esimerkin avulla todellinen energian ostotarve jäähdytykseen rakennusmääräyskokoelman osan D5 mukaisesti.

Yhteenvetona voi todeta, että toimivia mahdollisuuksia erilaisiin kylmän- ja lämmöntuotannon yhdistämiseen on olemassa. Mahdollisuudet yhdistämiseen riippuvat kuitenkin olosuhteista ja käyttötarpeista. Jäähdytysjärjestelmää hankittaessa on syytä ottaa huomioon kylmäntarpeet ja kokonaiskustannukset.

LÄHTEET

1. Vesikiertoiset jäähdytysjärjestelmät sisälämpötilan säädössä. Oy Danfoss Ab. Järjestelmäopas. Saatavissa: <http://lampo.danfoss.com/PCMPDF/vb36a120.pdf>. Hakupäivä 22.11.2010.
2. Käsmä, Veli 1996. Jäähdytys kaukolämpöverkolla. Raportti 112. Tampereen teknillinen korkeakoulu.
3. Koljonen, Tiina – Sipilä, Kari 1998. Uudemman absorptiojäähdytystekniikan soveltaminen kaukojäähdytyksessä. VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1926. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Saatavissa myös: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1998/T1926.pdf>. Hakupäivä 11.11.2010.
4. Ranne, Aulis 2001. Multi Supply Plant: Sähkö ja kylmä. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT tiedotteita. Espoo: Otamedia Oy. Saatavissa myös: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2001/T2097.pdf>. Hakupäivä 11.11.2010.
5. Korpela. SI-järjestelmän perusteet. Saatavissa: <http://www.cs.tut.fi/~jkorpela/SI/2.2.html>. Päivitetty 3.11.2010. Hakupäivä 11.11.2010.
6. Innova. Lämpöpumppujen edut. Saatavissa: http://www.innovalampopumput.fi/lampopumppu_edut.php. Hakupäivä 26.11.2010.
7. Lämpöä omasta maasta: Motiva lämmitysjärjestelmät maalämpöpumput. 2008. Motiva Oy. Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/3378/Lampoa_omasta_maasta_maalampopumput.pdf. Hakupäivä 26.11.2010.
8. Hakala, Pertti – Kaappola, Esko 2007. Kylmälaitoksen suunnittelu. 2, tarkistettu painos. Jyväskylä: opetushallitus.

9. Aittomäki, Antero 2001. Lämpöpumppulämmitys. Saatavissa:
<http://www.tut.fi/units/me/ener/julkaisut/LP-opas.PDF>. Hakupäivä 26.11.2010.
10. Laine, Tuomas – Ilvonen, Heikki – Suojanen, Risto – Vilkki, Pekka – Saaristo, Pekka 1996. Suomalainen ilmastointijärjestelmä: Ilmastointipalkkiopas, kanavisto-opas, muuttuvailmajärjestelmät, puhallinkonvektoriopas. L VIS-2000 Ilmastointi-tutkimusohjelma. Halton Oy, Koja Oy, Sity Ry, Kauppa- ja teollisuusministeriön energiaosasto.
11. Kasettimallinen puhallinkonvektori QFDK. Fläkt Woods Oy. Saatavissa:
<http://www.flaktwoods.fi/4306d05f-03bc-4a2a-ac4b-6255faf73db6>. Hakupäivä 28.11.2010.
12. Puhallinkovektori. Venticlima CSV24N. Scanoffice. Saatavissa:
<http://www.scanoffice.fi/products/98/114/ventilclima-csv-4s-22-puhallinkonvektori-kattokasettimalli>. Hakupäivä 28.11.2010.
13. Lahden Askonalue. 2008. Renor. Saatavissa:
http://www.renor.fi/tiedostot/askonalue_syksy08web.pdf. Hakupäivä 30.11.2010.
14. Lattialämmitys. 2010. Uponor Suomi Oy. Saatavissa:
http://www.uponor.fi/~media/Files/Uponor/Finland/Underfloor%20heating/Brochures/HSW531FI0606_ll_as_ja_kayttoohje.ashx. Hakupäivä 30.11.2010.
15. Lattialämmitysputkiston asennus. Rakentaja.fi. Saatavissa:
http://www.rakentaja.fi/index.asp?s=/seurantakohteet/Leo_Pekka_Tahti/seuranta/2305leo-pekka_tahti_se_uponor-wirsbo_makroflex.htm. Hakupäivä 14.11.2010.
16. Lämpöpumppu.org Saatavissa: <http://www.lampopumppu.org/ilmalampopumppu/>. Hakupäivä 16.11.2010.

17. Innoair. Saatavissa:

http://www.innoair.fi/epages/Kaupat.sf/fi_FI?ObjectPath=/Shops/Innoair/Products/SRK-20&ViewAction=ViewProductDetailImage. Hakupäivä 16.11.2010.

18. Kaukolämpö. Energiateollisuus Ry. Saatavissa:

<http://www.energia.fi/fi/kaukolampo>. Hakupäivä 16.11.2010.

19. Turku energian asiakaslehti Valopilkku. Turun Energia. Saatavissa:

<http://www.turkuenergia.fi/valopilkku/index.php?page=8a0a29172a7ad8f63f3b57f2a44a159&pgs=18>. Hakupäivä 16.11.2010.

20. Kaukojäähdytyksen tuotanto. Helsingin Energia. Yrityksen kotisivut osoitteessa:

<http://www.helen.fi/>. Hakupäivä 19.12.2010.

21. Fluke Ti20 Thermal Imager lämpökameran käyttöohje.

22. Kuva haettu kuvahauulla osoitteesta <http://www.google.fi/>. Hakusanalla: Fluke Ti20. Hakupäivä 20.12.2010.

23. Honkanen, H. Lämpöenergia. Oppimateriaali. Kajaanin ammattikorkeakoulu.

Saatavissa:

http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/KAT_L%C3%84MP%C3%96ENERGIA.pdf. Hakupäivä 22.12.2010.

24. Tuunanen, Jutta 2007. Absorptiotekniikka elintarviketehtaan jäähdytyksessä.

Opinnäytetyö. Mikkelin ammattikorkeakoulu.

25. Ruokatieto. Säilytystilat ja hygienia. Saatavissa:

http://opetus.ruokatieto.fi/Suomeksi/Nuoret/Keittio/Raaka-aineiden_sailytys_kotona/Sailytystilat_ja_hygienia. Hakupäivä 23.12.2010.

26. Energiateollisuus. Yhteistuotanto. Saatavissa: <http://www.energia.fi/>. Hakupäivä

26.12.2010.

27. Fortel Components Oy. Yrityksen kotisivu osoitteessa: <http://www.fortel.fi/etusivu>. Hakupäivä 5.1.2011.

28. Molten Carbonate Fuel Cell. Trigeneration. Saatavissa: <http://www.moltencarbonatfuelcell.com/>. Hakupäivä 30.12.2010.

29. Rakentajat.fi. Uponor lattialämmitys. Saatavissa: <http://www.rakentaja.fi/artikkelit/5356/uponor-lattialammitys+myos+viilentaa.htm?frame=0&tulosta=1>. Hakupäivä 30.12.2010.

30. Kuha, Susanna 2007. Hybridilämmityksen kustannusvaikutukset. Yleistiivistelmä liite b. Tekes. Mikkelin ammattikorkeakoulu.

31. Rakennusmääräyskokoelman osa D5. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet 2007. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/data/normit/29520-D5-190607-suomi.pdf>. Hakupäivä 3.1.2011.